

Trabajo Fin de Máster

Estudio del empleo de modelos moleculares en la
didáctica del enlace covalente

A study of the use of molecular models in the
didactic of covalent bond

Autor

Francisco Javier Santiago Arcos

Directores

María Esther Cascarosa Salillas

Francisco José Fernández Álvarez

FACULTAD DE EDUCACIÓN

2017-2018

Resumen

Las asignaturas de ciencias presentan conceptos de alto nivel de abstracción. El empleo de imágenes y modelos en 3-Dimensiones puede ser una herramienta útil para mejorar el proceso de aprendizaje de estos conceptos.

En este estudio analizamos la comprensión de los conceptos del enlace covalente por los alumnos y el uso de modelos moleculares para la mejora en la comprensión de estos.

Las altas calificaciones observadas por los alumnos no se correspondían con una buena comprensión de los conceptos. Así mismo, el uso de modelos moleculares mejoro las representaciones geométricas de las moléculas hechas por los alumnos, sugiriendo el uso de estos mismos en la didáctica del enlace covalente.

Abstract

Science subjects contain complex and abstract concepts. Thus, the use of certain tools such as images or 3-D models could be useful and motivating tools to improve the teaching learning process.

For this reason, this study is therefore aimed at analysing student's understanding of covalent-bond concepts as well as the management of molecular models to improve the understanding of the same.

Student's showed great results but these were not related to a proper understanding of them but to the fact of using molecular models since students improved their geometric abilities to represent molecules. As a result, students proved the effectiveness of these aforementioned models in the teaching of the covalent-bond.

Índice

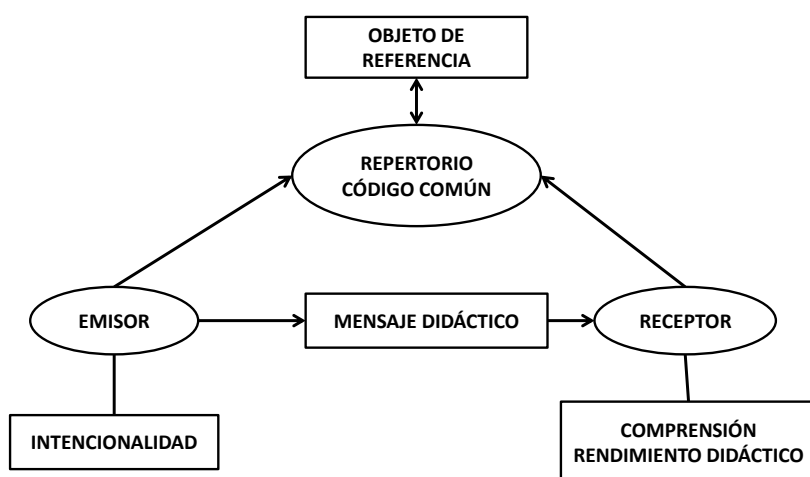
| | |
|---|--------|
| Introducción | - 4 - |
| <i>La inteligencia visual y la necesidad del empleo de imágenes en la didáctica de conceptos abstractos</i> | - 4 - |
| <i>Dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto del enlace covalente</i> | - 6 - |
| <i>Empleo de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente</i> | - 7 - |
| Metodología | - 9 - |
| <i>Sesiones</i> | - 10 - |
| Sesión 1 | - 12 - |
| Sesión 2 | - 13 - |
| Sesión 3 | - 14 - |
| Sesión 4 | - 15 - |
| <i>Examen de evaluación de la unidad del enlace químico</i> | - 17 - |
| Resultados | - 17 - |
| <i>Ejercicio recogido en la sesión 1</i> | - 17 - |
| No proporcionaron justificación | - 17 - |
| Si que proporcionaron justificación | - 18 - |
| <i>Examen</i> | - 19 - |
| Pregunta de carácter explicativo | - 20 - |
| Pregunta de carácter deductivo | - 22 - |
| <i>Evolución de los alumnos en el ejercicio deductivo</i> | - 23 - |
| <i>Dudas recogidas durante las sesiones</i> | - 23 - |
| <i>Definición de orbital</i> | - 24 - |
| <i>Encuestas de los alumnos acerca del uso de los modelos moleculares</i> | - 24 - |
| Discusión | - 25 - |
| <i>Respuestas recogidas del ejercicio de carácter explicativo</i> | - 25 - |
| <i>Respuestas recogidas del ejercicio de carácter deductivo</i> | - 25 - |
| <i>Calificaciones obtenidas en el examen</i> | - 26 - |
| <i>Definición de orbital</i> | - 26 - |
| <i>Dudas recogidas</i> | - 26 - |
| <i>Encuestas de los alumnos acerca del uso de los modelos moleculares</i> | - 26 - |
| Conclusión | - 27 - |
| Referencias | - 29 - |

Introducción

Este estudio pretende estudiar el impacto del empleo de los modelos moleculares y materiales dúctiles (elementos de carácter visual) en el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto del enlace covalente en el curso de segundo de Bachillerato en el Instituto de Educación Secundaria (I.E.S.) Pablo Serrano. Para ello, se investigó las relaciones existentes entre la didáctica y la inteligencia visual como fundamento teórico para el uso de los modelos moleculares, y se estudió la complejidad que el concepto del enlace covalente entraña para los alumnos.

La inteligencia visual y la necesidad del empleo de imágenes en la didáctica de conceptos abstractos

Munari (1990) destacó la comunicación visual como un proceso imprescindible para transmitir información de un emisor a un receptor, destacando su papel fundamental en la correcta transmisión de información, evitando falsas interpretaciones. En el marco docente, hablaríamos de una comunicación visual intencional con la que se pretende que la imagen transmita un significado específico. Costa y Moles (1991) representan la comunicación visual de carácter didáctico mediante el siguiente esquema (Esquema 1):



Esquema 1: Diagrama del proceso de comunicación visual en el contexto docente

Cabe resaltar la importancia que Costa y Moles (1991) da a la compartición por parte del emisor (docente) y receptor (alumno) de un código común en referencia al concepto tratado.

Las teorías más frecuentemente empleadas en educación secundaria para explicar el enlace covalente son la Teoría del Enlace de Valencia (TEV) y la Teoría de Repulsión de Pares de Electrones de la Capa de Valencia (TRPECV), en las cuales, la geometría espacial juega un papel fundamental. Las primeras herramientas que poseen los alumnos y el profesor a la hora de abordar estas dos teorías son las ilustraciones de los libros de texto, la pizarra y la destreza artística del profesor para dibujar en ella figuras en profundidad. Por tanto la capacidad visual que tengan los alumnos para poder generar esas figuras geométricas en la mente juega un papel crucial en el proceso de enseñanza del enlace covalente.

Considerando el papel del uso de imágenes (o en el caso de este trabajo, modelos moleculares en 3-Dimensiones) en la didáctica de la ciencia, las capacidades de aprendizaje, que el alumnado haya desarrollado durante su etapa lectiva, juegan un papel fundamental.

En 1983, Howard Gardner (1998) planteó la teoría de las inteligencias múltiples en la cual defiende la existencia de una diversidad de inteligencias (no sólo una) y señala a la inteligencia espacial como el conjunto de habilidades mentales relacionadas directamente con la navegación y la rotación de objetos en nuestra mente. Así mismo, se ha visto que arquitectos, los cuales están acostumbrados a resolver problemas donde la geometría juega un papel importante, poseen un alto nivel en este tipo de inteligencia. Podríamos considerar que el grado de desarrollo de estas habilidades por parte del alumnado podría ser clave a la hora de facilitar el aprendizaje y comprensión de conceptos con alto nivel de abstracción como el enlace covalente. De hecho, se ha probado que actividades enfocadas a trabajar el desarrollo de la visión espacial con el objetivo de facilitar la comprensión de conceptos relacionados con aéreas de la ciencia, y específicamente, en conceptos donde la geometría juega un papel clave como la identificación de cristales en geología, han sido productivas (Mateo González y Martínez Peña, 2013). Así mismo, el trabajo en el desarrollo de los procesos cognitivos ha demostrado ser eficaz para mejorar las capacidades de aprendizaje (Álvarez Rodríguez, 2007).

Por tanto, es razonable pensar que el uso de modelos moleculares o figuras espaciales durante la explicación de conceptos con un alto nivel de abstracción puede facilitar el proceso de aprendizaje, pues permite que el estudiante relacione mediante una imagen mental la disposición de una molécula desarrollada con la naturaleza de los enlaces covalentes presentes en la misma.

Dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto del enlace covalente

El aprendizaje y comprensión de los conceptos impartidos en la asignatura de Química presentan una gran dificultad para el alumnado. Varios estudios demuestran que la didáctica del enlace químico, en el que queda englobado el enlace covalente, es una de las unidades que más dificultad de comprensión presenta para el alumnado (Riboldi, Pliego y Odetti, 2004; Kim-Chwee y Treagust, 1999; De Posada, 1999).

En el caso del enlace covalente, son varios los factores que dificultan el aprendizaje de este concepto, destacando tales como:

- Las dificultades que presenta la transposición didáctica de conceptos de la ciencia en el ámbito escolar, que en muchos casos, otorga al docente un papel fundamental en la adquisición de contenidos (Solarte, 2006).
- El nivel de abstracción de los conceptos químicos. Así mismo, el grado de abstracción de estos mismos presenta una evolución a una mayor complejidad en el salto de los alumnos de Secundaria a Bachillerato (Pozo y Gómez, 1998).
- Como previamente hemos descrito, la visión espacial es una destreza fundamental a la hora de comprender conceptos de alto nivel de abstracción como el enlace covalente, ya que permite al estudiante representar una figura mental de la estructura molecular.
- Los términos empleados en la didáctica de enlace covalente, tales como: hibridación, promoción electrónica, solapamiento o repulsión electrónica entre otros, están asociados con conceptos muy específicos. Por ello, es de gran importancia que el alumnado comprenda con claridad estos términos y sea capaz de realizar una asociación correcta entre ellos. Por esta razón, es importante que el docente haga un trabajo

específico dedicado a la enseñanza del vocabulario empleado durante las sesiones, para que ambos, el docente y el alumnado, se hagan partícipes de una terminología común que haga posible la enseñanza y aumente el grado de adquisición de conocimientos por parte del estudiante (Perales-López y Romero-Barriga, 2005).

Los factores descritos anteriormente ponen de manifiesto que el enlace covalente es un temario con un alto nivel de complejidad. Sin embargo, este nivel de complejidad puede que no sea tan obvio para el alumnado, quien puede llegar a considerar la unidad didáctica del enlace químico como una de las de menor nivel de complejidad (Cárdenas 2006). Este hecho puede estar asociado con el alto nivel de complejidad que los propios conceptos planteados presentan, haciendo que el alumnado no sea consciente de la magnitud y abstracción de estos. Todo estos hechos pueden llevar a un bajo nivel de adquisición y comprensión de los conceptos del enlace covalente como ya demostrara Posada (1999) en su estudio. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas metodologías que mejoren el proceso de enseñanza-aprendizaje del enlace covalente es una línea de investigación de gran interés.

Empleo de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente

Hodson (1994) defendía que en ciencia, los estudiantes deben conocer los modelos y reconocerlos como productos obtenidos de la ciencia (aprender la ciencia); saber generar y evaluar sus propios modelos (aprender a hacer ciencia) y entender los modelos como instrumentos con los que se propaga y difunde la ciencia (aprender acerca de la ciencia). El empleo de ejercicios dinámicos donde el alumnado pueda representar no sólo las moléculas planteadas en los ejercicios, sino todas aquellas que las características de los átomos permitan, pueden ser una buena estrategia para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje del enlace covalente.

De hecho, una evaluación que se realizó a alumnos de 16 y 17 años acerca de conocimientos académicos del enlace covalente, se pudo observar que el 23% de los alumnos no consideraban el papel de la electronegatividad de los átomos en el enlace polar; el 27% consideraba que la geometría de la molécula estaba influida por la polaridad del enlace (en este punto, habría que recalcar que la polaridad de los enlaces puede llegar a influir en el ángulo entre los enlaces, pero no en las disposición de los enlaces); y casi un 30% de ellos confundía el concepto de fuerza intermolecular,

llegando a confundir su papel dentro o fuera de la molécula, como su aplicación en redes cristalinas (Peterson y Treagust, 1989; Peterson, Treagust y Garnett, 1989). Así mismo, en un ejemplo claro de fallo en la comprensión de conceptos, Caamaño y Casassas (1987) probaron que la mayoría de los alumnos no son capaces de proporcionar una definición apropiada de orbital atómico.

Para facilitar la comprensión y aplicación de los contenidos del enlace covalente, se medito la posibilidad de utilizar los modelos moleculares como herramienta didáctica clave en el proceso de aprendizaje. Este planteamiento estaría de acuerdo con las ideas de Lemke (2006) que defienden que el proceso de aprendizaje puede ser llevado a cabo tanto mediante el lenguaje como a través de representaciones visuales. El empleo de los modelos moleculares para representar figuras en 3-Dimensiones facilitaría el proceso de enseñanza y aprendizaje y la asimilación de conceptos de alto nivel de abstracción y complejidad, y que además resultan cruciales a la hora de entender la química y otras asignaturas del área de la ciencia como la biología (Móndelo y Martínez, 1994).

Así mismo, sería interesante investigar la posibilidad de utilizar otro tipo de representaciones de moléculas, ya que como destaca Treagust et al (2000) la variedad de formas de representar moléculas es muy amplia y que cada una de ellas resalta cualidades particulares de ellas. De ese modo se podría mejorar la eficiencia del proceso de aprendizaje y proveer al alumnado de diferentes formas de expresar un mismo concepto.

En base a lo expuesto en la introducción, el presente estudio muestra una investigación inicial para evaluar si el uso de modelos moleculares y elementos que permiten generar figuras en 3-Dimensiones que faciliten al alumnado el proceso de enseñanza-aprendizaje del enlace covalente, como la comprensión de los conceptos que los alumnos tienen de ellos. Los objetivos que busca este estudio son:

- Analizar si los modelos moleculares pueden facilitar la comprensión de conceptos abstractos que requieren visión espacial.
- Estudiar la idoneidad de los modelos moleculares como herramienta para la didáctica del enlace covalente a nivel curricular.

- Conocer el nivel de comprensión de los contenidos abstractos contenidos en la didáctica del enlace químico y su aplicación en las respuestas de ejercicios y exámenes por parte del alumnado.
- Analizar las respuestas de los alumnos a ejercicios de carácter deductivo y explicativo.

Metodología

La puesta en práctica de este proyecto de investigación se llevó a cabo en el I.E.S. Pablo Serrano. El centro, de educación pública, sólo tenía un grupo para la asignatura de Química en el curso de segundo de Bachillerato. Como parte de mis prácticas en el centro docente, y previo acuerdo con mi tutora, me encargue de la docencia de la unidad didáctica del enlace químico.

El grupo estaba formado por 27 alumnos, de los cuales 18 eran chicas y 9 eran chicos. Dos de los alumnos eran repetidores. En las perspectivas de estudios superiores, sólo dos alumnos querían cursar carreras del ámbito científico (geología y física). Ambos cursaban física. Del resto del alumnado, la mayoría, optaba por elegir una carrera de la rama sanitaria. En palabras de la tutora, era uno de los mejores grupos que había llevado con gente muy brillante. De hecho, 4 de los alumnos obtuvieron una nota superior a 13 en la prueba de la EvaU en junio de 2018. Así mismo, otros alumnos que no fueron tan brillantes presentaban una actitud muy trabajadora.

Aunque no está recogido en este trabajo, el uso de modelos moleculares fue empleado previamente a las sesiones anteriores al enlace covalente. En concreto, se emplearon modelos que representaban estructuras cristalinas de compuestos iónicos con el objetivo de facilitar la comprensión del concepto de índice de coordinación (anexo XIII). Esta experiencia se utilizó para ver cuál era la respuesta de los alumnos al empleo de los modelos y se apreció una respuesta positiva. Sin embargo, no se examinó la comprensión del concepto que se explicó.

La secuencia seguida para la unidad didáctica del enlace químico fue la misma que se encontraba en el libro de texto. En esa secuencia, la TRPECV era explicada antes que el enlace covalente. Así mismo, cabe resaltar que ambos conceptos estaban marcados en el libro como apartados diferentes. Durante las explicaciones de la TRPECV también se hizo uso de los modelos moleculares (anexo XIII). Así mismo, durante las explicaciones de las distintas geometrías que presentaban las moléculas, se les explicó el significado de las cuñas (que simbolizan los enlaces formados en distintos planos del papel) y su empleo a la hora de representar las moléculas. Por tanto, se esperó que los alumnos hicieran uso de ellas para hacer representaciones de las moléculas en la resolución de los ejercicios.

Sesiones

El proyecto se llevó a cabo en cuatro sesiones. El objetivo perseguido en las tres primeras sesiones fue realizar la explicación de los contenidos curriculares con el apoyo de modelos moleculares y elementos dúctiles. En todas ellas, la tutora recogió las dudas que los alumnos plantearon durante las explicaciones y que fueron objeto de análisis. La última sesión se diseñó con el objetivo de introducir a los alumnos al uso de los modelos moleculares y que los emplearan para resolver problemas a nivel curricular y extracurricular. En la Tabla 1 se secuencian estas sesiones.

En referencia a la última sesión, la sesión no se realizó en el momento programado debido a las exigencias del calendario escolar del curso de segundo de Bachillerato. La sesión estaba diseñada para haber sido llevada a cabo antes del examen evaluativo de la unidad. Sin embargo, la actividad se realizó una vez los alumnos habían realizado el examen de la unidad, por lo que no se pudo recoger de una manera eficiente los resultados de adquisición de conocimientos de los alumnos a través del empleo de los modelos moleculares. También resaltar la falta de asistencia del alumnado el día programado para la sesión 4. Solo participaron 6 alumnos en la sesión.

Tabla 1: Resumen de las sesiones llevadas a cabo con los alumnos del I.E.S. Pablo Serrano

| Sesión | Contenido | Recursos | Resultados |
|---------------|--|--|--|
| 1 | Enlace covalente Promoción electrónica | Libro de texto Pizarra | Introducción del concepto de solapamiento de orbitales, recordando el concepto de orbital. Relación de los términos energía y orbitales. Relación entre número de enlaces formados y electrones desapareados, promoción electrónica. |
| 2 | Propiedades enlace covalente. Polaridad | Libro de texto Pizarra | Deducción de las propiedades de las moléculas a partir de la polaridad de los enlaces. Introducción de los distintos tipos de enlace. Introducción del concepto de deslocalización orbital. |
| 3 | Hibridación | Libro de texto Pizarra Modelos moleculares Elementos dúctiles Cuadro resumen | Explicación de la hibridación de orbitales. Relación entre la hibridación y la geometría de la molécula. Explicación de las características y propiedades de una molécula (geometría, hibridación,..). Realización de ejemplos: etano, eteno y etino con el empleo de modelos moleculares. |
| 4 | Empleo modelos moleculares | Modelos moleculares Ejercicios impresos | Introducción al uso de los modelos moleculares Uso de los modelos moleculares para la resolución de moléculas nivel EvaU Introducción de conceptos extracurriculares con los modelos moleculares |

Sesión 1

Durante la primera sesión, se hizo empleo del libro de texto y de la pizarra para las explicaciones. Se plantearon como objetivos de la sesión la introducción del concepto de enlace covalente y de la promoción electrónica. Para las definiciones, se empleó la proporcionada por el libro de texto. Se explicó el concepto de promoción electrónica, el cual, explica la diferencia de valencias presentes en átomos de un mismo grupo en la tabla periódica. Para llevarlo a cabo, se utilizaron los diagramas que relacionan los orbitales y los niveles de energía. Para explicar esta relación, durante la explicación, se les recordó las deducciones obtenidas a través de los espectros de emisión que permitió deducir los distintos orbitales presentes en los diferentes niveles de energía donde se pueden encontrar electrones en un átomo.

Antes de finalizar la sesión, se les pidió a los alumnos que realizaran un ejercicio de carácter deductivo (consideraremos como ejercicio de carácter deductivo a aquellos donde a partir de la configuración electrónica de los átomos, el alumno debe deducir la molécula que pueden formar). Este ejercicio, obtenido del libro de texto (anexo II), fue recogido en una cuartilla para estudiar sus respuestas. Así mismo, se les pidió que dieran una definición de orbital atómico. Estas definiciones se recogieron en la misma cuartilla donde realizaron el ejercicio y se recogieron para ser estudiadas (anexo III).



Imagen 1: Sesión 1 con la clase de segundo de Bachillerato de químicas en el I.E.S. Pablo Serrano

Sesión 2

Esta sesión tuvo una gran parte de contenido teórico. En primer lugar se les explicó la TEV, haciendo hincapié en la necesidad de la presencia de un electrón desapareado en los orbitales para poder generar un enlace covalente. Después, se realizó un esquema en la pizarra donde se fueran recogiendo las distintas propiedades del enlace covalente. Para las explicaciones de los mismos, se utilizaron las definiciones proporcionadas por el libro de texto. Debido a la introducción de los tipos de enlace, se les proporcionó a los alumnos un cuadro resumen que recogiera las distintas características que presentan los tipos de enlace covalente, las hibridaciones que pueden presentar y el número de tipos de enlace covalente que pueden presentar.

Tabla 2: Tabla resumen de asociación de conceptos

| Tipo de enlace | Enlaces σ | Enlaces π | Orbitales P sin hibridar | Hibridación |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Sencillo | 1 | 0 | 0 | sp_3 |
| Doble | 2 | 1 | 1 | sp_2 |
| Triple | 3 | 2 | 2 | sp |

Para poner en práctica la adquisición de conocimientos, los alumnos realizaron diferentes ejercicios recogidos en el libro de texto donde trabajan el concepto de polaridad de la molécula dependiendo de su geometría y la polaridad de sus enlaces covalentes (anexo IV). Antes de finalizar la sesión, se corrigieron los ejercicios recogiendo las dudas que presentaron los alumnos.

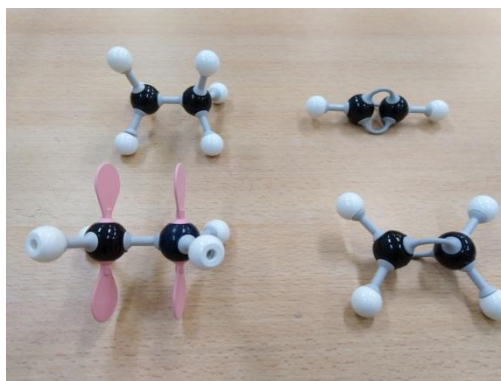


Imagen 2: Modelos moleculares empleados para la explicación de los tipos de enlace: sencillo, doble y triple.

Sesión 3

Esta sesión presentaba una gran dificultad debido a la abstracción del concepto que se iba a tratar. En primer lugar, se explicó el concepto de hibridación usando el libro de texto. Para explicar la necesidad de la formación de enlaces híbridos, se utilizaron las ilustraciones del libro de texto en los cuales se muestra la geometría de los orbitales hibridados y sin hibridar. Se explicó que la geometría y disposición espacial de los orbitales sin hibridar no explica la geometría que las moléculas adoptan según la TRPECV.

En la siguiente parte, se explicaron los distintos tipos de hibridación: sp , sp_2 y sp_3 . Para llevarlas a cabo, se utilizaron los ejemplos de la molécula de etano, eteno y etino para explicar cada una de las tres hibridaciones.

Se hizo hincapié en el uso de un esquema para la resolución de los ejercicios de carácter explicativo (consideramos los ejercicios de carácter explicativo a aquellos en los que se proporciona la fórmula molecular de una molécula y, a partir de ahí, el alumno debe explicar las características del átomo central y las propiedades de la molécula). El esquema es el siguiente:

- Configuración electrónica
- Disposición de los electrones en un diagrama de cajas de orbitales
- Posible promoción electrónica
- Hibridación de los orbitales necesarios

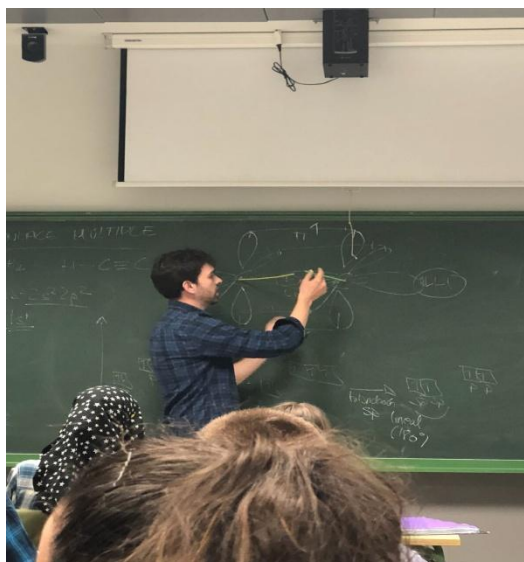


Imagen 3: Empleo de elementos dúctiles para generar estructuras en 3-Dimensiones durante la sesión 3

Durante la explicación de cada una de las moléculas se hizo uso de la pizarra. Debido a las limitaciones de la misma a la hora de representar figuras geométricas, y para poder explicar los solapamientos laterales de los orbitales p no hibridados, característicos de los enlaces covalente tipo π , se utilizarán modelos dúctiles con los que se les explicó las disposiciones geométricas de los orbitales p sin hibridar solo dan una manera de solapamiento. Para finalizar, se les mando ejercicios, recogidos en el libro de texto, para poder poner en práctica estos conceptos (anexo IV).

Sesión 4

Esta sesión se diseñó con el objetivo de que a los alumnos fueran capaces de emplear los modelos moleculares para resolver ejercicios de nivel curricular.

En primer lugar, se les presentó a los alumnos los distintos modelos moleculares de átomos centrales. Se les pidió que dedujeran que tipos de geometrías o moléculas podían representar con cada uno de ellas. Conforme las fueran identificando, las fueron anotando en una cuartilla. Para agilizar la actividad, se les proporcionó la información de las distintas configuraciones que representaban cada uno de los modelos moleculares.

Debido al bajo nivel de participación, la actividad se realizó de manera individual (en principio estaba diseñada para ser realizada entre 3 o 4 alumnos, lo cual, hubiera permitido que los alumnos realizaran trabajo colaborativo).

Una vez se familiarizaron con los distintos modelos moleculares, se les entregó una hoja donde estaban recogidos una serie de ejercicios para que pudieran practicar con ellos. Los primeros ejercicios pedían a los alumnos que generaran moléculas exigidas a nivel curricular (anexo XV). Sin llegar a ser significativo, la mitad de los alumnos realizaron las moléculas de manera rápida. Para finalizar la actividad, se les propuso dos ejercicios con contenidos de carácter extracurricular. Para cada ejercicio, se les proporcionó información del contenido a trabajar (anexo XV). Posteriormente, los alumnos realizaron los ejercicios propuestos poniendo en práctica el empleo de los modelos moleculares (anexo XV). Solo uno de ellos llegó a completar la actividad.



Imagen 4: alumnos del I.E.S. Pablo Serrano durante la sesión 4 donde se les introdujo en el empleo de los modelos moleculares

Examen de evaluación de la unidad del enlace químico

Pese a no preparar el examen, y que la sesión de introducción a los modelos moleculares no fue realizada previa al mismo, se recogieron datos acerca de las respuestas dadas por los alumnos y las calificaciones obtenidas por los mismos. El examen seguía la misma estructura que los exámenes de la EvaU. Contaba con dos opciones. La opción A contaba con dos ejercicios que fueron analizados, uno de carácter deductivo (ejercicio 1) y otro de carácter explicativo (el ejercicio 2). Estos dos ejercicios los podemos encontrar en el anexo I.

Resultados

Ejercicio recogido en la sesión 1

Una vez analizado los resultados obtenidos, pudimos comprobar que la mayoría de los alumnos pudieron deducir la fórmula molecular. Clasificamos las respuestas recogidas en dos grupos: aquellos que respondieron a la pregunta sin dar ninguna explicación, y en el otro, los que si dieron una justificación.

No proporcionaron justificación

De los alumnos que no añadieron una explicación, dividimos las respuestas en dos grupos:

- Los que realizaron el ejercicio a través de diagramas de orbitales
- Los que usaron estructura de Lewis y diagrama de orbitales

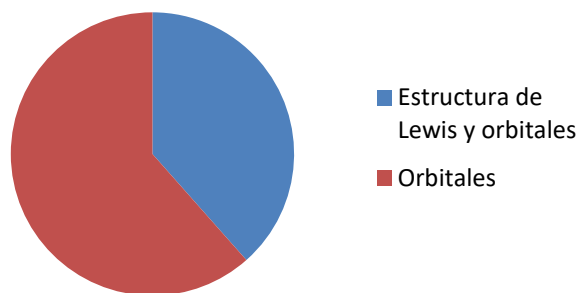


Gráfico 1: Representación de las opciones utilizadas por los alumnos que no dieron explicación en la resolución.

Si que proporcionaron justificación

Las estrategias de respuesta fueron muy similares a las vistas en el grupo anterior. Así mismo, dos alumnos utilizaron ambas estrategias en la justificación de la respuesta. A continuación, clasificamos las respuestas dadas por los alumnos dependiendo de su estrategia elegida:

Orbitales y estructura de Lewis:

Se podrían considerar las respuestas más completas. Ambas se basaron en la necesidad de completar el octeto electrónico de los átomos y en la formación de un enlace covalente a través de la compartición de electrones.

Estructura de Lewis:

Dos alumnos confundieron enlace covalente llamándolo enlace sencillo. Un alumno habló del papel de la electronegatividad para formar el enlace covalente. En general, sus explicaciones se basaron en completar el octeto electrónico.

Orbitales:

Sus respuestas se basaron en los electrones desapareados y la representación de los mismos en diagrama de cajas para representar los orbitales. No explican la necesidad para la formación de un enlace covalente de dos electrones desapareados, uno en cada orbital

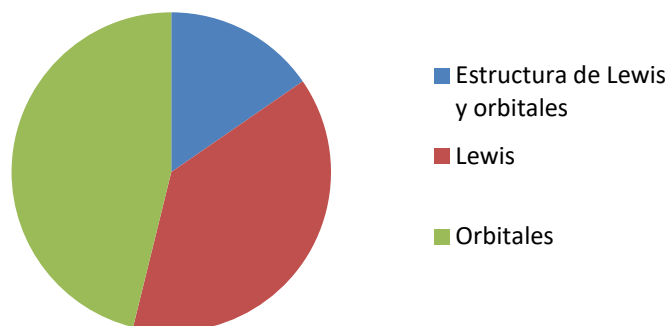


Gráfico 2: Representación de las opciones utilizadas por los alumnos que si dieron explicación en la resolución

Los alumnos supieron deducir la molécula más probable que podían formar los átomos propuestos. Sin embargo, las explicaciones proporcionas no muestran una explicación teórica sólida a la deducción. Además, cabe resaltar que ninguno de ellos razonó acerca de la geometría de la molécula, a pesar de que la TRPECV ya había sido explicada. Así mismo, ninguno de ellos hizo del uso de las cuñas para dibujar la geometría de la molécula. Los resultados de este ejercicio los puede encontrar en el anexo V.

Examen

Para analizar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante la didáctica del enlace covalente, se analizó el examen de evaluación de la unidad didáctica del enlace químico. En concreto, se estudiaron las respuestas dadas por los alumnos en los ejercicios 1 y 2 (en este último, se estudió las respuestas del apartado c). En los anexos VI, VII, VIII, IX y X podemos encontrar imágenes de las respuestas de los alumnos. Así mismo, en el análisis de las respuestas, se proporciona un gráfico circular donde se representan las calificaciones obtenidas por los alumnos. Las calificaciones se dividieron en superiores a 0,4 y en inferiores o iguales a 0,4. Cada apartado tenía una nota máxima de 0,5. En el anexo XIV se pueden encontrar en una tabla las calificaciones obtenidas por los alumnos en cada uno de los apartados.

Pregunta de carácter explicativo

Apartado a

Todos los alumnos escribieron correctamente la estructura de Lewis. Sólo destacar que los alumnos 8 y 14 no situaron los pares de electrones no enlazantes de los átomos.

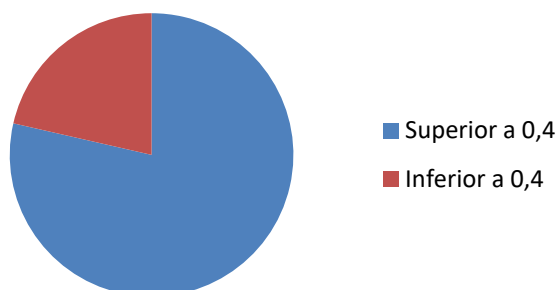


Gráfico 3: Representación de las calificaciones obtenidas por los alumnos en el apartado a

Apartado b

Todos los alumnos comenzaron el ejercicio definiendo la TRPECV. Así mismo, todos los alumnos dedujeron la estructura geométrica que presentan las dos moléculas.

Los alumnos 2, 6, 8, 10, 12 y 14 hicieron uso de las cuñas a la hora de hacer una representación de las moléculas. Por otro lado, los alumnos 1, 5, 7 y 13 dibujan las moléculas de manera plana, sin utilizar la profundidad. Finalmente, los alumnos 4, 3 y 11 dedujeron la estructura geométrica de las moléculas sin dibujar las moléculas.

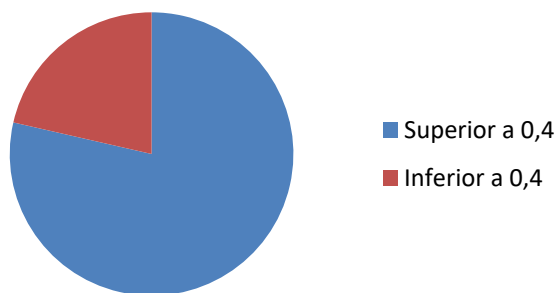


Gráfico 4: Representación de las calificaciones obtenidas por los alumnos en el apartado b

Apartado c

La mayoría de los alumnos dedujeron la polaridad de las moléculas. Sin embargo, destacar el dato que hasta 6 alumnos (2, 3, 4, 8, 10 y 11) no dibujaron, ni las moléculas, ni los momentos dipolares de los enlaces covalentes. Así mismo, los alumnos 2 y 3 emplearon la palabra vector para definir el momento dipolar.

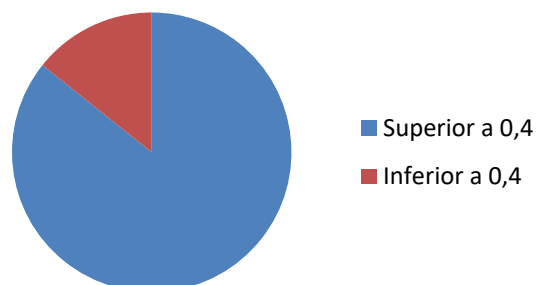


Gráfico 5: Representación de las calificaciones obtenidas por los alumnos en el apartado c

Apartado d

Todos señalaron que los dos átomos centrales presentaban hibridación sp_3 . Destacar la respuesta del alumno 2, la cual, relacionaba la hibridación de los orbitales y la disposición de estos en el espacio con la geometría tetraédrica de las moléculas. Así mismo, el alumno 11 también relaciona el concepto de hibridación con la disposición

geométrica de las moléculas. Sin embargo, podemos apreciar ciertos errores conceptuales en las justificaciones dadas por los alumnos. Los alumnos 1, 6, 7 y 14 relacionan el concepto de hibridación con el tipo de enlace formado entre los átomos. Así mismo, los alumnos 3 y 8 relacionaban la hibridación con la promoción electrónica para generar electrones desapareados. De hecho, el alumno 3 relacionaba la promoción electrónica con el solapamiento de orbitales. El alumno 4 dedujo la hibridación a partir de la promoción electrónica que genera 4 orbitales con 4 electrones desapareados. El alumno 5 utilizó el mismo argumento, y también, se apoyó en la estructura de Lewis realizada en el apartado a. El alumno 13 no realizó ninguna explicación.

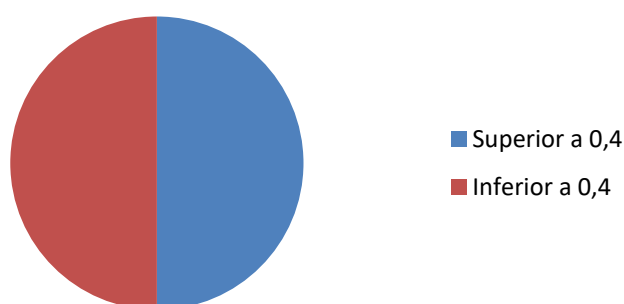


Gráfico 6: Representación de las calificaciones obtenidas por los alumnos en el apartado d

Pregunta de carácter deductivo

En este ejercicio, se analizó el apartado “c” del ejercicio 2 en el cual se pide la deducción de la molécula que podían formar dos átomos a partir de sus configuraciones electrónicas. Este apartado tenía la misma estructura que la del ejercicio recogido en la sesión 1.

De las 11 respuestas estudiadas, 8 de ellas proporcionaban la fórmula molecular correcta. Este resultado podría haber sido mejor si el alumno 9 hubiera proporcionado una fórmula molecular, ya que su explicación a través de la promoción electrónica es correcta.

En general, las explicaciones aportadas fueron aceptables. La mayoría de los alumnos se apoyaron en la estructura de Lewis y los conceptos de la promoción electrónica y la regla del octeto para deducir la fórmula molecular.

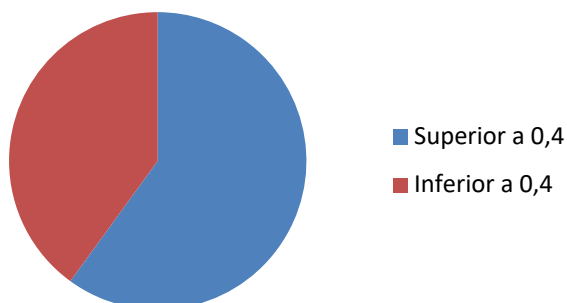


Gráfico 7: Representación de las calificaciones obtenidas por los alumnos en el ejercicio de carácter deductivo

Evolución de los alumnos en el ejercicio deductivo

Este análisis se realizó en los alumnos 1 y 13. El objetivo era analizar una posible evolución en la respuesta recogida en la sesión 1 y la escrita en el apartado c del ejercicio 2 en el examen. Tanto el alumno 1 como el 13, respondieron correctamente en ambos ejercicios (sesión 1 y examen). Sin embargo, mientras el alumno 13 repitió el mismo esquema de respuesta, el alumno 1 no utilizó el diagrama de Lewis, como previamente hizo en el ejercicio de la sesión 1, en el examen. No se aprecian grandes cambios en las estrategias resolutorias de ambos alumnos.

Dudas recogidas durante las sesiones

En general, las preguntas realizadas por los alumnos entran dentro de la lógica de dudas que al alumno le pueden surgir durante la explicación de este concepto. Sin embargo, una de las preguntas resalta sobre todas ellas:

¿La hibridación se da en moléculas concretas o es habitual?

Esta pregunta no está enfocada a la aclaración de los conceptos dados, sino a identificar un concepto con una o varias moléculas.

Definición de orbital

18 de los alumnos proporcionaron una definición de orbital en el ejercicio recogido en la sesión 1. Se analizó las definiciones tomando como referencia la fuente Carvajal (2018) donde se define al orbital atómico como una región del espacio donde la probabilidad de encontrar un electrón es grande en un átomo”.

Tomamos como términos clave probabilidad y región (aunque también aceptaremos expresiones y palabras similares a ellas).

En mayor o menor medida, todos relacionan el término orbital con los electrones, entendiendo esta región como la zona donde se sitúan los mismos.

Sin embargo, y según la definición explicada anteriormente, es la región donde la probabilidad de encontrar un electrón es grande. Por tanto usar el término probabilidad lo tenemos que considerar fundamental para proporcionar una definición apropiada de orbital. De las definiciones recogidas, solo 6 usaban la palabra probabilidad en sus definiciones.

Encuestas de los alumnos acerca del uso de los modelos moleculares

Se realizó el análisis de las rúbricas realizadas por los alumnos para evaluar tanto la actividad donde se les familiarizaba con el uso de los modelos moleculares y del uso de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente, las encuestas recogidas se pueden encontrar en el anexo XVI. De todos los alumnos encuestados, la mayoría valoraban como muy positivo la introducción de los modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente. Así mismo, todos consideraban que los modelos moleculares les ayudaron en la comprensión de los conceptos abstractos englobados en la unidad del enlace químico. Por último, los alumnos que realizaron la actividad, consideraron que esta podría ser introducida en el aprendizaje en el uso de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente.

Discusión

Respuestas recogidas del ejercicio de carácter explicativo

Como pudimos apreciar, el conjunto de las respuestas recogidas muestran que los alumnos fueron capaces de responder a los apartados de la pregunta 1 del examen, y además, obtuvieron buenas calificaciones. No obstante, durante el análisis de las justificaciones proporcionadas por los alumnos, se aprecian errores conceptuales en las explicaciones.

En el apartado a y b, se recogieron buenas respuestas y se pudo observar el uso de dibujos (incluido el empleo de las cuñas) para proporcionar una imagen de la geometría espacial de la molécula. Por otro lado, en los apartados c y d se pudieron observar los errores conceptuales o la falta de argumentos teóricos en las justificaciones de las respuestas. Por ejemplo, varios alumnos dedujeron la polaridad de la molécula en el apartado c sin dibujar su geometría y sin utilizar los momentos dipolares de los enlaces covalentes de la misma. Así mismo en el apartado d, se pudo ver como varios alumnos asociaban el tipo de enlace formado (σ o π) con el concepto de hibridación. En este apartado, el uso de tablas de resumen de conceptos, como la expuesta Tabla 2, podrían potenciar que los alumnos se centraran en memorizar estas asociaciones sin llegar a profundizar en el entendimiento y correcta aplicación de los contenidos.

Respuestas recogidas del ejercicio de carácter deductivo

Al presentar la misma estructura que el ejercicio recogido en la sesión 1, se pudo comparar las respuestas obtenidas en ambos ejercicios. En general, se pudo apreciar una mejora en la resolución del tipo de ejercicio de carácter deductivo. Este hecho se pudo deber a varios factores, tales como:

- Mayor comprensión de los conceptos explicados
- Mayor estudio para preparar el examen de evaluación
- Menor presión a la hora de realizar el ejercicio de la sesión 1

A pesar de la mejoría observada, se seguían viendo errores conceptuales en las explicaciones dadas por los alumnos.

Calificaciones obtenidas en el examen

Las calificaciones obtenidas por los alumnos que fueron sujeto de estudios fueron muy buenas. Sin embargo, se pudo apreciar que, a pesar de las buenas calificaciones obtenidas, este hecho no estaba relacionado directamente con una demostración de gran comprensión de los contenidos explicados del enlace covalente.

Definición de orbital

Como vemos en el análisis realizado, los alumnos no tenían en su mente una idea muy clara acerca del orbital atómico. Aunque varios alumnos hablan del orbital atómico como una zona de máxima probabilidad o zona de probabilidad, la mayoría de los alumnos, en su definición, entienden el orbital atómico como la región donde se encuentran los electrones, obviando términos como probabilidad y dando a entender una seguridad del 100% de encontrar los electrones en esa región.

A pesar de la complejidad que entraña el propio concepto de orbital atómico (los alumnos encuentran gran dificultad a la hora de relacionar términos como región y probabilidad) observamos que hay ciertos conceptos clave como el orbital atómico que no quedan claros o bien comprendidos para la mayoría del alumnado.

Dudas recogidas durante las sesiones

Una vez analizadas las preguntas recogidas por parte de la tutora durante las sesiones del enlace covalente, llamó la atención la pregunta señalada en el apartado de resultados. Este hecho puede estar relacionando con la tendencia que los alumnos tienen a identificar un conjunto de características asociadas a determinadas moléculas como método de estudio. De ese modo, el alumno sólo centra su atención en asociar los conceptos con las respuestas que debe dar en las preguntas de las pruebas evaluativas en vez de focalizar sus esfuerzos en la comprensión de los conceptos explicados, y una vez comprendidos, aplicarlo de manera razonada en la resolución de ejercicios.

Encuestas de los alumnos acerca del uso de los modelos moleculares

A la hora de introducir una nueva metodología, es siempre interesante saber la opinión o “feedback” del alumnado para conocer su respuesta ante la nueva dinámica. Se observó en las rúbricas recogidas que la introducción de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente ha tenido una buena aceptación por parte del alumnado. Partiendo de

esto, y viendo las opiniones recogidas por parte de aquellos participantes durante la actividad del aprendizaje en el uso de los modelos moleculares, se puede considerar que esta última sería una actividad muy productiva a la hora de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los conceptos del enlace covalente. No obstante, hubiera sido muy interesante haber realizado esta sesión antes del examen de evaluación de la unidad didáctica del enlace químico para ver si las explicaciones proporcionadas por los alumnos en el examen acerca de los conceptos relacionados con el enlace covalente hubieran mejorado.

Conclusión

El proceso de enseñanza-aprendizaje del enlace covalente presenta muchas dificultades. Desde la explicación de conceptos de alto nivel de abstracción, hasta conseguir que los alumnos centren sus esfuerzos en la comprensión de los conceptos y su correcta aplicación, son muchos los frentes que el docente debe trabajar para el éxito de la didáctica de este concepto.

Para ayudar a la comprensión del concepto enlace covalente, el uso de elementos visuales se presenta como una herramienta muy útil. Este concepto, y otros relacionados con el, tales como la hibridación de los orbitales o la geometría presentada por las moléculas, pueden ser abordados a través del uso de representaciones en 3-Dimensiones, facilitando de esta manera el proceso de aprendizaje al alumnado.

Así mismo, a la hora de experimentar las distintas posibles moléculas que los átomos pueden generar entre sí dependiendo de sus características, el aprendizaje en el uso de los modelos moleculares puede ser una estrategia interesante. Así mismo, los alumnos pueden encontrar atractivo este tipo de actividades que rompen la dinámica de clase que normalmente se lleva a cabo en los cursos de Bachillerato. De este modo, se conseguiría que los alumnos trabajaran de una manera más activa, y a la vez, se mejoraría la comprensión que los mismos tienen de los conceptos estudiados. De hecho, las rúbricas recogidas en la sesión 4 y en tutorías donde los alumnos evaluaron el uso

del empleo de los modelos moleculares y la actividad de la sesión 4, estos consideraron positivamente ambos aspectos.

Con todo esto, podemos proponer el uso de modelos moleculares y elementos que permitan representaciones en 3-Dimensiones para la didáctica del enlace covalente. Así mismo, se puede sugerir la actividad de aprendizaje en el uso de modelos moleculares como actividad innovadora a la hora de abordar los conceptos del enlace covalente y su inclusión en el currículo de química de segundo de Bachillerato en el tema del enlace químico.

Referencias

- Álvarez Rodríguez, S. (2007). Procesos cognitivos de visualización espacial y aprendizaje. *Revista de Investigación en Educación*, 4, 61-71.
- Caamaño, A., y Casassas, E. (1987). La comprensión de la estructura de la materia y del cambio químico en estudiantes de 15 y 16 años. *Enseñanza de las ciencias*, 159-160.
- Cárdenas, S. F. A. (2006). Dificultades de aprendizaje en química, caracterización y búsqueda de alternativas para superarla: Ampliación y continuación.: *Ciência & Educação*, 3(12), 333-346.
- Díaz Barriga Arceo, F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista electrónica de investigación educativa*, 5(2), 1-13. Recuperado en 01 de julio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412003000200011&lng=es&tlng=es.
- Costa, J., y Moles, A. (Ed.). (1991). Imagen didáctica. Barcelona: Ceac.
- De Posada, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 227-245.
- Carvajal, L. (2018). ¿Que son los orbitales atómicos?. 12/06/2018, de Química para ingenieros Sitio web: <https://www.quimicaparaingenieros.com/que-son-los-orbitales-atomicos/>
- Gardner, H. (1998). A Reply to Perry D. Klein's 'Multiplying the problems of intelligence by eight. *Canadian Journal of Education*, 23(1), 96-102.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Investigación y experiencias didácticas*, 12(3), 299-313.

- Kim-Chwee, D. T., & Treagust, D. F. (1999). Evaluating students understanding of chemical bounding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.
- Lemke, J. L. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), 5-12.
- Mateo González, E. y Martínez Peña, M. B. (2013). ¿Tengo Visión espacial? Simetría de modelos cristalográficos sobre alumnos de altas capacidades. *IX Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias*. Girona.
- Móndelo, M., & Martínez, C. (1994). Materia inerte o materia viva ¿Tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las ciencias*, 12(2), 226-233.
- Munari, B. (2ª ed.) (1990). *Diseño y comunicación visual*. Barcelona: Gustavo Gili, S.L.
- Perales-López, J. C., & Romero-Barriga, J. F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: Una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología*, 24(1), 13-30.
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 students'' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459-460.
- Peterson, R. F., Treagust, D. F., & Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of research in Science Teaching*, 26(4), 301-314.
- Posada, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 17(2), 227-245.
- Pozo, J. I., y Gómez-Crespo, M. A. (Ed. rev.). (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Riboldi, L., Pliego, O., y Odetti, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las ciencias*, 22(2), 195-212.

Solarte, M. C. (2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista ieRed*, 1(4), 1. Recuperado de <http://revista.iered.org>

Treagust, D., Duit, R., y Nieswandt, M. (2000). Sources of student's difficulties in learning Chemistry. *Revista de Educación Química*, 11(2), 228-235.